

Eigen
J. v. Bahel

NOTA 1363

augustus 1982

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

BEPALING VAN GEOHYDROLOGISCHE GROOTHEDEN
UIT WATERBALANSEN EN GRONDWATERSTANDEN
VAN HET WATERAANVOERGEBIED 'DE MONDEN'

ir. T. van Keulen

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. STROMINGSWEERSTANDEN	3
3. GEBIEDSBESCHRIJVING	5
3.1. Stuwpeilvakken	5
3.2. Watervoerende pakketten	6
4. DE BEREKENING VAN GEO-HYDROLOGISCHE GROOTHEDEN UIT DE WATERBALANS	7
4.1. Geo-hydrologische schematisatie	7
4.2. Waterbalans voor het 1e of freatisch pakket	8
4.3. Waterbalans voor het 2e en 3e watervoerend pakket	11
5. VELDWAARNEMINGEN	13
5.1. Grondwaterstanden	13
5.2. Afvoeren	13
5.3. Meteorologische gegevens	15
5.4. Open water peilen	16
6. WATERBALANSBEREKENINGEN	16
6.1. Balansperioden	16
6.2. Berekeningen freatisch pakket	18
6.3. Berekeningen 2e en 3e watervoerend pakket	28
7. SAMENVATTING EN NABESCHOUWING	38
LITERATUUR	39

1. INLEIDING

Ten behoeve van een optimaler waterbeheer in het Waterschap de Veenmarken is door de Heidemij Nederland BV in opdracht van het waterschap en de Landinrichtingsdienst Drenthe een waterbeheersplan opgesteld voor dit gedeelte van de Drentse Veenkoloniën

Aansluitend hierop verricht het ICW, in samenwerking met het waterschap en de Landinrichtingsdienst, onderzoek naar de mogelijkheden om door middel van stuwpeilbeheer de voor het gewas beschikbare hoeveelheid water te doen vergroten. Gekeken wordt naar vergroting van de vochtinhoud van de bodem, verbetering van de capillaire eigenschappen en mogelijkheden voor infiltratie vanuit open water (wijken).

Het veldonderzoek hiervoor is verricht in het wateraanvoergebied "De Monden" gelegen tussen Valthe en Musselkanaal (figuur 1). In dit gebied zijn voor het waterbeheersingsplan een 20-tal stuwen en een 10-tal inlaatwerken geplaatst en is het aantal waterlopen verbeterd en uitgebreid.

In dit onderzoek wordt getracht in een wiskundig model de hydrologische situatie in dit gebied na te bootsen. Hiervoor zijn sinds 1978 een groot aantal metingen verricht aan afvoeren bij stuwen, grondwaterstanden, waterpeilen in kanalen en wijken en is een proefperceel ingericht waarin een aantal lysimeters geplaatst zijn.

Het model bevat onder andere een grondwaterstromingsmodel voor de verzadigde zone FEMSAT (VAN BAKEL, 1978) dat behoefte heeft aan een aantal parameters die de hydrologische en geologische eigenschappen van de bodem en diepere ondergrond beschrijven. Eigenschappen zoals weerstand voor horizontale en verticale waterbeweging in de grond: c-waarden, kD-waarden en infiltratie en drainageweerstanden.

$\frac{f}{f}$	peilschaal
$\frac{f}{f}$	peilschaal met F&P
	registratie
f^e	peilschaal in wijk

2

Uit waarnemingen die de afgelopen 3 jaar in dit gebied verzameld zijn, zijn aan de hand van opgestelde waterbalansen deze parameters bepaald.

2. STROMINGSWEERSTANDEN

In de waterhuishouding wordt voor de stromingsweerstand in de bodem onderscheid gemaakt in een geleidbaarheid voor de horizontale waterbeweging kD , een hydraulische weerstand voor de verticale stroming c en een stromingsweerstand naar en vanuit open water (ontwateringsweerstand γ).

- Het doorlaatvermogen kD wordt bepaald door de dikte D van het watervoerend pakket en de geleidbaarheid voor waterstroming in de horizontale richting k_h die op haar beurt weer afhankelijk is van de granulaire samenstelling van het materiaal.
Voor het proefgebied heeft Pomper (1982) uit boorschrijvingen en pompproeven, per watervoerend pakket, deze kD -waarden bepaald.
- De verticale weerstand c , een grootheid die alleen gebruikt wordt voor slecht doorlatende lagen, wordt bepaald door de dikte van die slecht doorlatende laag en de geleidbaarheid voor verticale stroming. De c -waarde is gelijk aan het quotient van deze twee.
- De drainageweerstand γ , ook wel ontwateringsweerstand genoemd, wordt gebruikt voor de relatie tussen freatisch grondwater en oppervlaktewater. Zij is gedefinieerd als het quotient van het verschil in stijghoogte tussen het freatisch vlak midden tussen de ontwateringsmiddelen en het openwaterpeil, en de afvoer per eenheid van oppervlakte, U_d , als gevolg van dit stijghoogteverschil.

$$\gamma = \frac{h_{\text{freatisch}} - h_{\text{open water}}}{U_d} \quad (1)$$

Hierin zit zowel een weerstandscomponent voor de horizontale, de vertikale als voor de radiale weerstand.

Analoog aan de elektriciteitsleer kunnen de weerstanden berekend worden uit het potentiaal verval en de stromingsdichtheid.

$$R = \frac{V}{I} \quad (2)$$

waarin: R = weerstand

V = potentiaalverval

I = stromingsdichtheid

In de bodem komt het potentiaal verschil tot uitdrukking in een stijghoogteverschil Δh (m) en wordt de stromingsdichtheid uitgedrukt in U (m.d^{-1}).

Door middel van pompproeven, waarbij door afpompen van een bepaald debiet, kunstmatig een horizontale, vertikale en radiale stroming veroorzaakt wordt, kunnen deze weerstanden berekend worden door de tijdens zo'n proef optredende stijghoogtes te meten.

In het wateraafvoergebied "De Monden" is het eveneens mogelijk gebruik te maken van de reeds van nature aanwezige grondwaterbeweging en de grondwaterstijghoogteverschillen. Door het opstellen van een waterbalans kunnen deze verschillende grondwaterstromingen (kwel, wegzijging, drainage, etc.) bepaald worden. Samen met de waargenomen stijghoogteverschillen wordt hieruit de weerstand bepaald volgens:

$$c = \frac{\Delta h'}{U'} \quad \text{en} \quad \gamma = \frac{\Delta h''}{U''} \quad (3)$$

waarin: c = hydraulische weerstand slecht doorlatende laag (d)

$\Delta h'$ = stijghoogteverschil over deze slecht doorlatende laag
(m)

U' = stromingsdichtheid door de slecht doorlatende laag
(m.d^{-1})

en γ = ontwateringsweerstand (d)

$\Delta h''$ = stijghoogteverschil freatisch grondwater en open water
(m)

U'' = stromingsdichtheid van grondwater naar open water
(m.d^{-1})

3. GEBIEDSBESCHRIJVING

De omvang van een gebied waarvoor een waterbalans opgesteld wordt is bepaald door geologische en waterhuishoudkundige gegevens zoals waterscheidingen, het voorkomen van slecht doorlatende lagen en de aanwezigheid van meetinrichtingen waaraan de verschillende termen van de waterbalans afgeleid kunnen worden,

Voor het wateraanvoergebied "De Monden" is zowel een horizontale als verticale indeling gemaakt in respectievelijk stuwpeilvakken en watervoerende pakketten.

3.1. S t u w p e i l v a k k e n

Het proefgebied wordt gekenmerkt door een strook met sterke kwel in het westelijk deel langs de Hondsrug en een strook met wegzijging in het midden en oostelijke deel langs het stadskanaal. Voor de waterbeheersing is het gebied ingedeeld in een aantal stuwpeilvakken die samen afwateren op 3 stuwen in het noorden van het proefgebied (zie figuur 1).

De ontwatering geschiedt via een intensief wijkstelsel (op afstanden van ongeveer 170 meter) waardoor een zeer regelmatig ontwateringspatroon ontstaat. Er kon daarom uitgegaan worden van een lineaire grondwaterstand-afvoerrelatie. De zwetsloten op het midden van de percelen zijn vaak ondiep en slecht onderhouden en in vele gevallen zelfs afwezig. Bij de berekeningen is met deze sloten verder geen rekening meer gehouden.

Per stuwpeilvak konden bepaald worden de waterscheiding, de hoeveelheid water die oppervlakkig wordt afgevoerd, het peil in de waterlopen en de verschillende grondwaterstijghoogtes.

De indeling van het gebied voor de waterbalans is om deze redenen gelijk genomen aan de indeling in stuwpeilvakken. De grenzen van de waterbalansgebieden vallen dus samen met de waterscheidingen tussen de stuwpeilvakken zodat er geen randstroming optreedt.

3.2. Watervoorerende pakketten

Op grond van geohydrologische gegevens (POMPER, 1981) is in de opbouw van de ondergrond onderscheid gemaakt in een aantal watervoorerende pakketten. Deze zijn van elkaar gescheiden door minder goed doorlatende lagen.

"In het betreffende gebied wordt de basis van het watervoerend systeem op een diepte tussen 120 en 140 m aangetroffen.

Het hierboven liggende watervoerende systeem kan worden onderverdeeld in drie watervoerende pakketten. Het onderste - ten dele bestaande uit fijne homogene zanden uit de Formatie van Scheemda en daarboven zeer grove oud-pleistocene zanden - vormt het voornaamste watervoerend pakket met een doorlaatvermogen tussen 1500 en 2000 m²/dag. Het wordt in het gehele gebied aan de bovenzijde begrensd door een pakket met een pakket fijne kleiïge zanden en klei uit de Formatie van Peelo. Tot dit pakket moet ook een kleilaag worden gerekend die door Tsengö (perscomm.) wordt aangeduid als 'Gromerklei' en welke in het zuidoostelijke deel van het gebied een dikte van 7 m bereikt.

Hierboven bevindt zich het tweede watervoerend pakket met een dikte van 10 à 20 m en een doorlaatvermogen van 250-500 m²/dag.

Het wordt in een deel van het gebied aan de bovenzijde begrensd door een enkele metersdik pakket humeuze klei uit het Eemien. Het hierboven liggende pakket fijne zanden uit de Formatie van Twente kan worden beschouwd als het eerste watervoerend pakket. In verband met het geringe doorlaatvermogen (30-60 m²/dag) is het de vraag of het pakket niet beter samen met de Eemklei en het dunne holocene pakket (1 à 2 m) als afdekkend pakket kan worden beschouwd.

Het bovenstaande overziend kan worden vastgesteld dat het hydrologische proces zich voornamelijk afspeelt in het derde watervoerend pakket, waarin zich vermoedelijk de regionale grondwaterstromingsprocessen afspelen.

Het laat zich aanzien dat de lokale grondwaterstromingsprocessen in het tweede watervoerend pakket plaats hebben, terwijl het eerste dan alleen een functie heeft in de afwatering van de percelen (drainage).

Voor het bovenstaande stromingsschema is te verwachten dat in een gebied als het onderhavige studiegebied de functie en het al of niet aanwezig zijn van de op betrekkelijk geringe diepte aangetroffen Eemklei van grotere betekenis is dan die van de 'Gromerklei' welke zich op grotere diepte bevindt" (POMPER, 1981).

4. DE BEREKENING VAN GEO-HYDROLOGISCHE GROOTHEDEN UIT DE WATERBALANS

4.1. G e o - h y d r o l o g i s c h e s c h e m a t i s a t i e

In een waterbalans worden voor een bepaalde begrensde eenheid (bv. stroomgebied of watervoerend pakket) de invoergrootheden geplaatst tegenover de uitvoergrootheden. Het verschil tussen beide geeft een verandering van de berging in die betreffende eenheid.

Voor de bepaling van de balansgebieden is een schematisatie gemaakt van de in het vorige hoofdstuk beschreven gebiedskenmerken.

1. De balansgebieden zijn gemaakt op grond van het oppervlaktewaterstelsel. Dit oppervlaktewaterstelsel ligt in het 1e watervoerende pakket en staat niet in rechtstreeks contact met het 2e watervoerende pakket.
2. Omdat de grenzen van de balansgebieden samenvallen met de waterscheidingen tussen de peilvakken treedt er in het freatisch pakket geen horizontale stroming over de rand op.
3. De verticale indeling voor de waterbalans valt samen met de 3 watervoerende pakketten die van elkaar gescheiden zijn door minder goed doorlatende lagen zoals is aangegeven in figuur 2.
4. De verticale weerstand tussen het freatisch (1e) grondwaterpakket en het 2e watervoerende pakket wordt geconcentreerd gedacht op de scheiding van deze twee pakketten in een c_1 -laag.
Even zo is de verticale weerstand tussen het 2e en 3e watervoerende pakket geconcentreerd gedacht op de scheiding van deze 2 pakketten in een c_2 -laag.

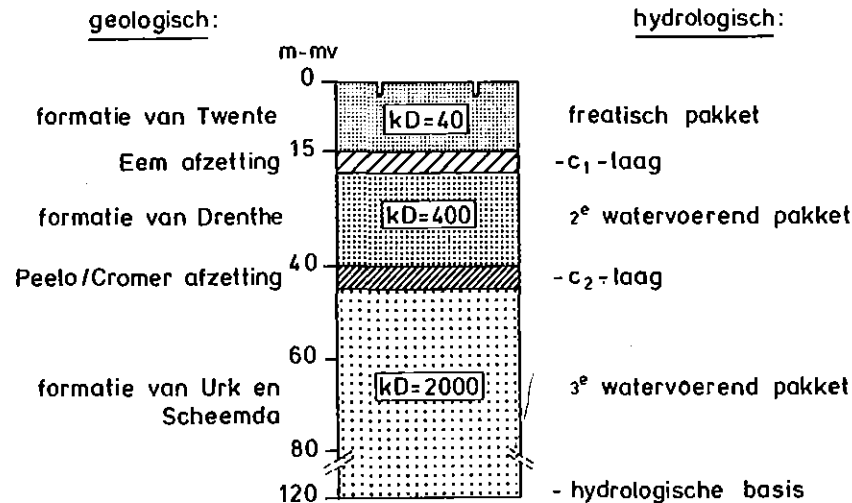


Fig. 2. Schematisering van de profielopbouw in het proefgebied "De Monden" ten behoeve van modelberekeningen

5. De stromingsweerstand van het freatisch grondwater naar het oppervlaktewater is gelijk aan de ontwateringsweerstand γ .

4.2. Waterbalans voor het 1e of freatische pakket

De waterbalans voor de ondiepe grondwaterstroming bepaalt dat in een stationaire situatie de hoeveelheid water Q_d die afgevoerd wordt via het open water gelijk moet zijn aan de hoeveelheid water Q_n die door het freatisch vlak stroomt en het debiet Q_k dat vanuit het onderliggende pakket geleverd wordt.

$$Q_d = Q_n + Q_k \quad (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}) \quad (4)$$

waarin: Q_d = debiet vanuit de bodem naar open water ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

Q_n = debiet van onverzadigde zone naar de verzadigde zone ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

Q_k = debiet van het diepe naar het ondiepe pakket ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

Bij berekening per eenheid van oppervlakte kan vergelijking (4) herschreven worden als:

$$U_d = U_n + U_k \quad (\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}) \quad (5)$$

waarin: U_d = afvoerintensiteit vanuit de bodem naar open water (mm.d^{-1})
 U_n = stromingsintensiteit door het freatisch vlak (mm.d^{-1})
 U_k = stromingsintensiteit van het diepe naar het ondiepe pakket (mm.d^{-1})

Bovenstaande is schematisch weergegeven in figuur 3.

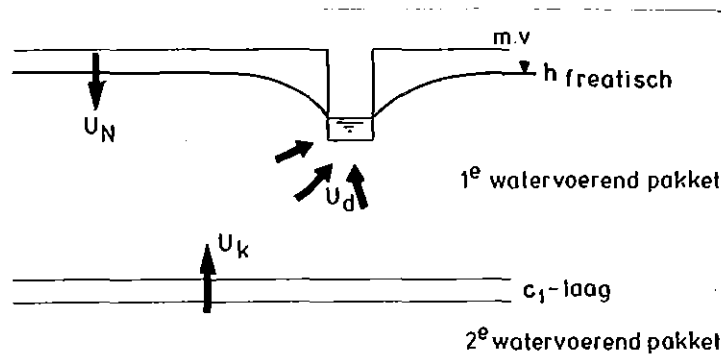


Fig. 3. Stromingsschema van het freatisch grondwater in het geval van neerslagoverschot en kwel

De stroming U_n door het freatisch vlak wordt bepaald uit het neerslagoverschot en de bergingsverandering in de onverzadigde zone volgens:

$$U_n = N - E - \frac{\Delta M}{\Delta t} \quad (\text{mm.d}^{-1}) \quad (6)$$

waarin: N = neerslagdichtheid (mm.d^{-1})
 E = verdampingsdichtheid (mm.d^{-1})
 $\frac{\Delta M}{\Delta t}$ = bergingsverandering per tijdseenheid (mm.d^{-1})

De afvoer U_d wordt bepaald uit de hoeveelheid water die het gebied via kanalen en dergelijke binnenstroomt en de hoeveelheid water die het gebied op deze wijze verlaat.

$$U_d = U_u - U_i \quad (\text{mm.d}^{-1}) \quad (7)$$

waarin: U_u = hoeveelheid water die het gebied verlaat (mm.d^{-1})
 U_i = hoeveelheid water die het gebied binnenstroomt (mm.d^{-1})

In figuur 3 is uitgegaan van een neerslagoverschot en een positieve kwelstroming. Natuurlijk is ook de situatie mogelijk waarbij wegzijging optreedt of dat er een neerslagtekort is en er infiltratie is vanuit het open water.

Uit vergelijking (5), (6) en (7) kunnen nu de waarden van "U" bepaald worden die nodig zijn voor de berekening van de hydraulische weerstand c_1 en de ontwateringsweerstand γ .

Deze relaties zien er als volgt uit:

$$\gamma = \frac{h_m - h_o}{U_d} \quad (8)$$

waarin: γ = ontwaterings- of drainageweerstand (d)

h_m = stijghoogte grondwater midden perceel (m)

h_o = waterpeil in open water (m)

U_d = afvoerdichtheid naar open water ($m \cdot d^{-1}$)

en voor de hydraulische weerstand van de scheidende laag tussen het ondiepe pakket en het onderliggende 2e watervoerende pakket:

$$c = \frac{h_2 - h_{fr}}{U_k} \quad (9)$$

waarin: c = hydraulische weerstand (d)

h_2 = stijghoogte grondwater in het 2e watervoerende pakket (m)

h_{fr} = hoogte van het freatisch vlak (m)

U_k = stromingsdichtheid van het 2e watervoerende pakket naar het freatisch vlak ($m \cdot d^{-1}$)

De hoogte van het freatisch vlak is niet overal gelijk (zie figuur 4). Dichter bij de ontwateringssloten zal deze lager zijn in geval van drainage of hoger wanneer infiltratie optreedt vanuit de sloten. De stroming U_k zal ook variëren daar deze lineair afhankelijk is van $h_2 - h_{fr}$. Dit lineair verband maakt het mogelijk de hydraulische weerstand c ook te berekenen uit de gemiddelde hoogte h_{gem} van het freatisch vlak binnen een balansgebied en de gemiddelde waarde van U_k .

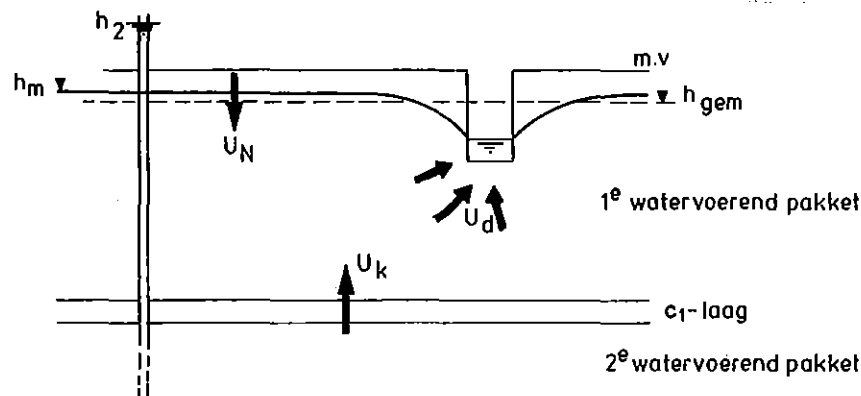


Fig. 4. Stroomingsschema van het freatisch grondwater in het geval van kwelstroming vanuit het 2e watervoerend pakket

$$c = \frac{h_2 - h_{gem}}{U_{k,gem}} \quad (10)$$

N.B. De grondwaterstijghoogte h_2 in het 2e watervoerend pakket wordt in het balansgebied constant verondersteld. De waarde van $U_{k,gem}$ wordt rechtstreeks bepaald uit de waterbalansvergelijking (5).

De waarde voor h_{gem} wordt berekend uit de gemeten h_m en h_o volgens:

$$h_{gem} = h_o + \alpha (h_m - h_o) \quad (11)$$

waarin: α = vormfactor, afhankelijk van de vorm van het freatisch vlak.

4.3. Waterbalans voor het 2e en 3e watervoerend pakket

De balansgebieden zijn gekozen op grond van de waterscheidingen van het freatisch grondwater. De waterbalans voor de diepe grondwaterstroming verschilt in zoverre van de ondiepe grondwaterstroming dat hierin niet de aan- en afvoer voorkomt vanuit en naar het open water maar een horizontale stroming over de rand van het balansgebied optreedt. De bergingsverandering wordt nul verondersteld zodat verschil

in in- en uitstroming in horizontale richting een stroming in verticale richting oplevert naar andere watervoerende pakketten (zie figuur 5).

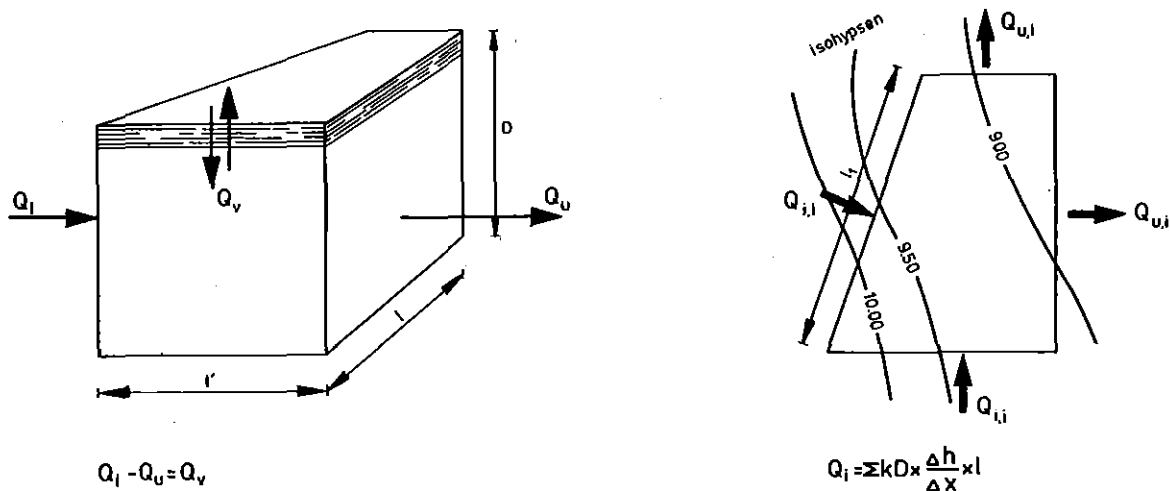


Fig. 5. Gehanteerde symbolen bij de waterbalans voor de diepere watervoerende pakketten

De weerstand die de verticale stroming ondervindt van de ene naar de andere watervoerende laag kan weer afgeleid worden uit de grootte van die verticale stroming en het stijghoogteverschil tussen beide lagen.

De grootte van in- en uitstroming over de rand wordt berekend uit:

- de gradiënt in het isohypsenpatroon loodrecht op de rand;
- de kD -waarde bij die rand;
- de afmetingen van het in- en uitstromingsprofiel

zoals weergegeven in figuur 7 en vergelijking (12).

$$Q = \sum_{i=1}^N kD \cdot \frac{\Delta h}{\Delta s} \cdot \Delta l_i \quad (12)$$

waarin: Q = debiet ($m^3.d^{-1}$)

kD = doorlaatvermogen van het pakket bij de rand ($m^2.d^{-1}$)

$\frac{\Delta h}{\Delta s}$ = verhang in het isohypsenpatroon loodrecht op de rand
($m.m^{-1}$)

l = breedte waarover de stroming berekend wordt.

5. VELDWAARNEMINGEN

5.1. Gr o n d w a t e r s t a n d e n

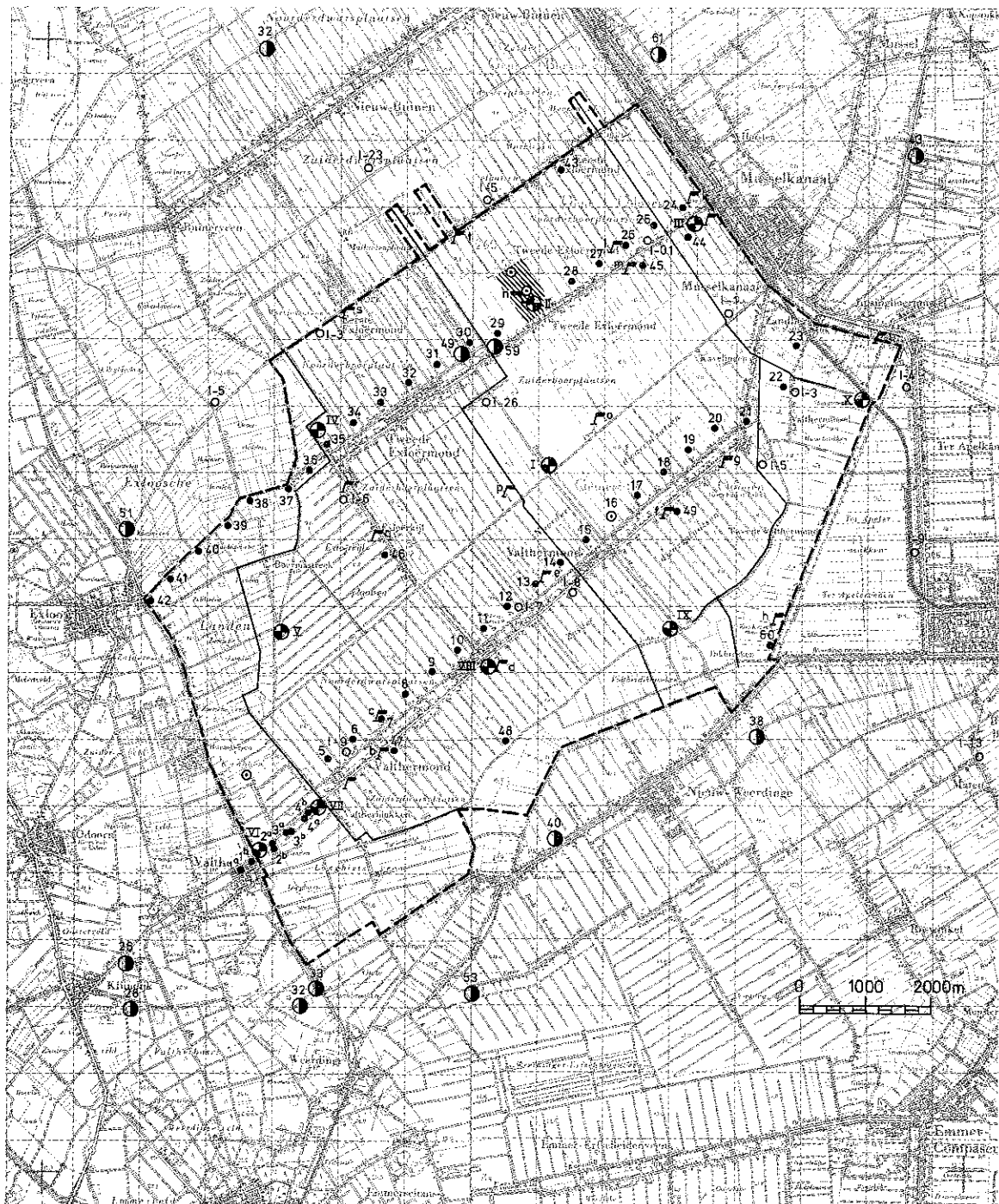
Voor het doen van grondwaterstandwaarnemingen is een uitgebreid net van meetpunten ingericht (zie figuur 6). Dit bestaat uit een 50-tal landbouwbuizen. Verder zijn er 10 spoelboringen uitgevoerd waarna filters met stijgbuizen geplaatst zijn op diepten van 5, 20 en 60 meter in respectievelijk het ondiepe, middeldiepe en diepe watervoerende pakket. Hieraan zijn wekelijks waarnemingen verricht.

Naast de bovengenoemde meetpunten heeft ook het TNO in dit gebied een aantal diepe en ondiepe peilbuizen waarvan in dit onderzoek gebruik is gemaakt.

5.2. A f v o e r e n

In figuur 1 zijn alle stuwen en bijbehorende peilvakken aangegeven. Om de afvoeren over de stuwen te bepalen is bij elke stuw wekelijks de hoogte van de overstortende straal gemeten. Bij de kleinere stuwen is dit gedaan door middel van het plaatsen van een stok op de kruin van de stuw en hierop de dikte van de overstortende straal af te lezen. Bij de grotere stuwen is de overstorthoogte geregistreerd met drukopnemers (HOMMA, 1981) en Fischer & Porter apparatuur die het waterniveau even bovenstrooms van de stuw meten. Met een overstorthoogtemeter (HOMMA, 1981) zijn regelmatig de periodieke waarnemingen gecontroleerd.

Met ijkfuncties kunnen deze overstorthoogtes omgerekend worden naar afvoeren (HOMMA, 1981). Daar de meeste stuwen niet als meetinrichting waren uitgevoerd maar meestal waren voorzien van een getande kruin, is per type stuw een overstorthoogte-afvoerrelatie bepaald.



- | | | |
|--------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| wateraanvoergebied „DE MONDEN“ | ----- grens proefgebied | •4 landbouwbuis I.C.W. |
| meetpunten netwerk | — hoofdwaterring | ⊙16 landbouwbuis met P-10 |
| | ⊙ IV spoelboring I.C.W. | ⊙1-5 landbouwbuis T.N.O. |
| | ⊙ diepe peilbuis T.N.O. | ⌒ peilschaal |
| | ▨ proefpercelen | |

Fig. 6. Meetpuntennetwerk voor grondwaterstandswaarnemingen

De automatische stuwen zijn op handbediening geplaatst zodat uit één waarneming per week toch een betrouwbare indruk te krijgen is van de gemiddelde afvoer over die betreffende week. De continue registraties met behulp van F&P apparatuur bij de grotere stuwen W-14, W-16, M-22, O-32 en M-28 geven de mogelijkheid om te controleren of dit wel geoorloofd is. Eventueel zijn correcties aan te brengen.

5.3. Meteorologische gegevens

Voor het verkrijgen van meteorologische gegevens zoals neerslaghoeveelheden en verdamping is er een meteorologisch station ingericht in het gebied "De Monden" waar de neerslag met behulp van een pluviograaf geregistreerd is. Daarnaast is ook gebruik gemaakt van de dagcijfers van de KNMI-meteo-stations in Emmen, Nieuw-Buinen en Ter Apel, alle drie in de directe nabijheid van het onderzoeksgebied gelegen.

Daar de betrokken regenmeters, zowel die van het KNMI als die van het ICW op 40 cm boven maaiveld geplaatst zijn, is aangenomen dat deze tengevolge van windeffecten een tekort aan neerslag registreren ten opzichte van een ingegraven regenmeter.

Volgens Warmerdam (1981) vangt een pluviograaf op 40 cm en met een opvangopening van 4 dm^2 (voor een winterperiode) gemiddeld slechts 78% van de hoeveelheid neerslag die een grondregenmeter opvangt. De standaardregenmeters van het KNMI van 2 dm^2 op een hoogte van 40 cm registreren gemiddeld over een winterperiode slechts 95% van de neerslag die een grondregenmeter vangt. Voor de waterbalansberekeningen zijn de bovengenoemde correcties toegepast.

Voor de winterperiode 1980-1981 zijn de waarnemingen aan de pluviograaf van het ICW vergeleken met de cijfers van het KNMI. De pluviograaf geeft een neerslagtotaal over deze wintermaanden van 266 cm. Het KNMI geeft voor de 3 stations een neerslagtotaal van gemiddeld 320 mm. Als beide waarnemingen met de bovengenoemde factoren gecorrigeerd worden komt de werkelijke neerslag op 341 mm respectievelijk 337 mm. De door Warmerdam gegeven correcties blijken dus voor de Veenmarken in de goede orde van grootte te liggen.

N.B. Voor de zomerperiodes moeten de volgende waarden genomen worden:
pluviograaf vangt 89% van de werkelijke neerslag
KNMI-regenmeter 97% van de werkelijke neerslag.

De verdamping is bepaald uit de decadecijfers van de open-waterverdamping volgens het KNMI voor Eelde.

5.4. Open water peilen

Van het open water is het peil geregistreerd boven- en benedenstrooms van de stuwen. In elk stuwpeilvak is eveneens in een van de wijken het peil bovenstrooms waargenomen. Waarnemingen aan de peilschalen zijn elke 2 weken gebeurd. Continue registratie van het peil in de waterlopen met F&P apparatuur of P-10's vond plaats bij de stuwen W-14, W-16, M-22, M-28 en O-32 en eveneens in één van de wijken bij het proefperceel. Figuur 7 geeft een overzicht waar de verschillende peilschalen gelokaliseerd zijn.

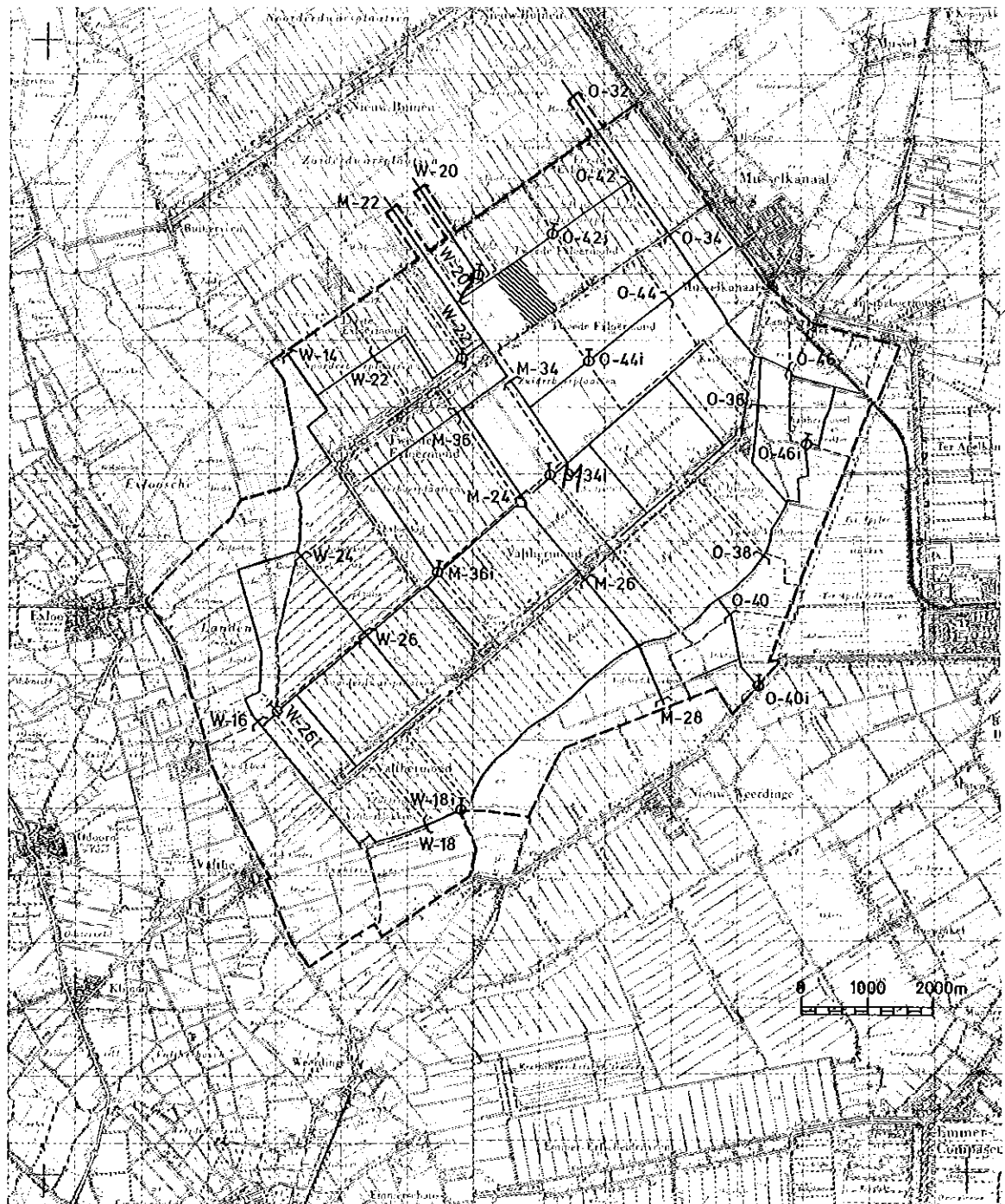
Het bepalen van de waterscheidingen en de indeling in peilvakken is verricht door het waterschap alsmede de bepaling van het afwaterend oppervlak per leidingvak.

6. WATERBALANSBEREKENINGEN

6.1. Balansperiodes

De waterbalansen zijn opgesteld voor 2 winterperiodes, te weten 18 oktober tot 7 december 1979 en van 21 oktober 1980 tot 27 februari 1981. Redenen voor het kiezen van deze periodes waren:

- a. De verdamping in de winter is laag zodat een fout in de bepaling hiervan weinig gevolgen heeft voor de totale berekening.
- b. De grondwaterstand aan het einde van de winter was niet veel hoger dan die aan het begin. Bovendien wordt de balans over een groot aantal dagen berekend. Daardoor is de bergingsverandering per dag, die uit dit grondwaterstandsverschil bepaald wordt, niet groot. Evenzo zullen onnauwkeurigheden hierin ook van minder gewicht zijn op de balansberekeningen.



wateraanvoergebied "DE MONDEN"

plan van waterlopen

- hoofdwaterscheiding *water divide*
- hoofdwatersgang *main water course*
- W-16 sluus *weir*
- O-34i inlaatwerk *inlet structure*
- grens-plotvak *boundary of section*
- ▨ productiegebied

Fig. 7. Waarnemingspunten in de waterlopen

+ stroomrichting

- c. Alle inlaatwerken staan gedurende de winterperiode dicht. Er is dus geen open verbinding tussen de verschillende peilvakken of kwel- en wegzijgingsgebieden (anders dan via stuwen). De verschillende hydrologische situaties zijn beter gescheiden waardoor berekeningen betrouwbaarder worden.

Echter ten gevolge van grote neerslagoverschotten is de kans dat een stuw in een verdrongen toestand verkeert in de winter groter.

De balansperiode in de winter 1979-1980 telt slechts 49 dagen daar in die periode helaas niet langer aaneengesloten is waargenomen.

6.2. Berekeningen freatisch pakket

De berekeningen van de waterbalans voor het bovenste grondwaterpakket staan weergegeven in tabel 1 en 2. Alle grootheden welke nodig zijn voor het oplossen van de balansvergelijking staan hierin vermeld.

In de laatste kolom staan de berekende waarden voor U_k welke bij kwel positief is en bij wegzijging negatief. Te zien is dat de kwel hoofdzakelijk geconcentreerd is in het westelijke gebied (vanuit de Hondsrug) en in de peilvakken O-32 en O-34 langs het Stadskanaal.

In de winter 1980-1981 zijn een aantal stuwen verdrongen. De bijbehorende peilvakken zijn samengevoegd bij het benedenstroomse peilvak waarvan de berekende afvoerdichtheid dan een gemiddelde voor beide peilvakken is. Probleem daarbij is dat in een dergelijke situatie binnen één balansgebied zowel kwel- als wegzijgingsgebieden voor kunnen komen waardoor de resultaten minder bruikbaar worden.

Grote verschillen kunnen optreden wanneer het totaal afwaterend oppervlak van een stuw groot is in verhouding tot het oppervlak van het bijbehorende peilvak. Onnauwkeurigheden in de bepaling van in- en uitstromende hoeveelheden oppervlaktewater tellen hier zwaarder mee bij de kwelberekening. Met name de peilvakken O-32 en M-22 als ook peilvak W-14 zijn hierdoor minder bruikbaar.

Tabel 1. Waterbalans per peilvak van het 1e watervoerende pakket voor de periode 21 okt. - 9 dec. 1979 (49 dagen)

Stuw, peilvak	Totaal afwaterend oppervlak	Oppervlak peilvak	Totale afvoer stuw	Afvoer dicht- heid	Netto af- voer peil- vak U_d	Neer- slag	Verdam- ping	Berging	Kwel U_k
	ha	ha	$10^3 \cdot m^3$	$mm \cdot d^{-1}$	$mm \cdot d^{-1}$	$mm \cdot d^{-1}$	$mm \cdot d^{-1}$	$mm \cdot d^{-1}$	$mm \cdot d^{-1}$
W-14	2718	846	2098	1,58	2,02	1,90	0,35	0,0	0,47
W-16	885	646	979	2,26	2,94	1,90	0,35	0,10	1,49
W-18	239	239	50	0,42	0,42	1,90	0,35	0,14	- 0,99
W-20	65	65	-	-	-	1,90	0,35	-	-
W-22	183	183	1	0,01	0,01	1,90	0,35	- 0,17	- 1,73
W-24	804	330	280	0,71	0,58	1,90	0,35	0,21	- 0,76
W-26	474	474	185	0,80	0,80	1,90	0,35	0,29	- 0,46
West	2718	2718	2098	1,58	1,58	1,90	0,35	0,15	0,18
M-22	3937	529	1708	0,89	2,08	1,90	0,35	0,07	0,60
M-24	2312	329	780	0,69	- 0,58	1,90	0,35	0,11	- 0,94
M-26	1983	928	861	0,89	0,18	1,90	0,35	0,21	- 1,26
M-28	1055	1055	841	1,82	1,82	1,90	0,35	-	-
M-34	666	666	293	0,93	0,93	1,90	0,35	0,07	- 0,58
M-36	430	430	96	0,46	0,46	1,90	0,35	0,14	- 0,95
Midden	3937	2382	1708	0,89	0,53	1,90	0,35	0,11	- 0,91
O-32	2162	166	812	0,77	3,56	1,90	0,35	0,14	2,15
O-34	1748	402	513	0,60	2,49	1,90	0,35	0,14	1,03
O-36	848	348	12	0,03	- 0,01	1,90	0,35	0,14	- 1,42
O-38	500	366	14	0,06	- 0,10	1,90	0,35	0,21	- 1,44
O-40	134	134	32	0,48	0,48	1,90	0,35	0,14	- 0,93
O-42	248	248	59	0,48	0,48	1,90	0,35	0,20	- 0,87
O-44	248	248	10	0,08	0,08	1,90	0,35	0,07	- 1,40
O-46	250	250	44	0,36	0,36	1,90	0,35	- 0,09	- 1,28
Oost	2162	2162	812	0,77	0,77	1,90	0,35	0,15	- 0,63
Totaal	8817	7762	4618	1,07	0,97	1,90	0,35	0,13	- 0,45

Nadere beschouwing van de tabellen 1 en 2 laat zien dat met name de berekende kwelintensiteiten nu W-14 en M-22 in 1980/1981 veel hoger zijn dan in de periode in 1979. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in een foutieve berekening van de afvoeren.

De berekende afvoeren van het oostelijk gebied zijn als redelijk betrouwbaar te kenschetsen. Zoals in het vervolg zal blijken is de stroming over de rand van de diepere ondergrond van het oostelijk gebied in beide balansperioden nagenoeg gelijk. Dit betekent dat de berekende kwel, U_k , ook nagenoeg gelijk moet zijn. Echter deze is de

Tabel 2. Waterbalans per peilvak van het 1e watervoerende pakket voor de periode 10-10-'80 tot 27-2-'81 (140 dagen)

Stuw, peilvak	Totaal afwaterend oppervlak ha	Oppervlak peilvak ha	Totale afvoer stuw 10^3 m^3	Afvoer dicht- heid mm.d^{-1}	Netto af- voer peil- vak U_d mm.d^{-1}	Neer- slag mm.d^{-1}	Verdam- ping mm.d^{-1}	Berging mm.d^{-1}	Kwel U_k mm.d^{-1}
W-14	2718	846	15 749	4,14	6,54	2,44	0,49	0,13	4,72
W-16	885	646	4 146	3,34	3,34	2,44	0,49	0,09	1,48
W-18	239	239	stuw verdronken, meegenomen bij W-16						-
W-20	65	65	217	2,39	2,39	2,44	0,49	0,06	0,50
W-22	183	183	stuw verdronken, meegenomen bij W-14						-
W-24	804	330	2 184	1,94	1,86	2,44	0,49	0,06	- 0,02
W-26	474	474	1 323	1,99	1,99	2,44	0,49	0,06	0,10
West	2718	2718	15 749	4,14	4,14	2,44	0,49	0,08	2,27
M-22	3937	529	16 652	3,02	4,14	2,44	0,49	0,07	2,26
M-24	2312	329	8 879	2,74	1,35	2,44	0,49	0,04	- 0,56
M-26	1983	928	8 258	2,97	2,94	2,44	0,49	0,12	1,11
M-28	1055	1055	4 437	3,01	3,01	2,44	0,49	-	-
M-34	666	666	stuw verdronken, meegenomen bij M-22						-
M-36	430	430	856	1,42	1,42	2,44	0,49	0,15	- 0,38
Midden	3937	2882	16 652	3,02	3,02	2,44	0,49	0,10	1,17
O-32	2162	166	5 048	1,67	1,91	2,44	0,49	0,14	0,10
O-34	1748	402	4 605	1,88	3,07	2,44	0,49	0,20	1,32
O-36	848	348	1 810	1,52	2,63	2,44	0,49	0,14	0,82
O-38	500	366	527	0,75	0,45	2,44	0,49	0,12	- 1,38
O-40	134	134	296	1,58	1,58	2,44	0,49	0,14	- 0,23
O-42	248	248	514	1,48	1,48	2,44	0,49	0,10	- 0,36
O-44	248	248	450	1,29	1,29	2,44	0,49	0,10	- 0,29
O-46	250	250	616	1,76	1,76	2,44	0,49	0,09	- 0,10
Oost	2162	2162	5 048	1,67	1,67	2,44	0,49	0,15	- 0,13
Totaal	8817	7762	37 449	3,03	3,04	2,44	0,49	0,11	1,20

eerste balansperiode $0,50 \text{ mm.d}^{-1}$ meer negatief dan in de tweede perio-
de ($- 0,63$ ten opzichte van $- 0,13$). De oorzaak hiervoor kan alleen
in de geschatte bergingsverandering liggen. Kennelijk is de aanname,
op 21 oktober 1979 de onverzadigde zone in evenwicht was met het grond-
water, niet juist (hysteresis?). Daarom zijn bij de verdere bereke-
ningen de bergingsveranderingen in de periode 21/10/1979 - 9/12/1979
verhoogd met $0,5 \text{ mm.d}^{-1}$ (dit is $24,5 \text{ mm}$ totaal).

Door het construeren van gemiddelde isohypsenkaarten uit de grondwaterstandswaarnemingen over deze periode voor de verschillende watervoerende pakketten, kunnen hieruit de grondwaterstijghoogteverschillen bepaald worden.

Voor de berekening van het gemiddelde openwater peil per peilvak is slechts het stuwpeil bekend in de hoofdwatgang en het peil in de wijk bovenstrooms. Voor de ontwatering van de percelen is voornamelijk het waterpeil in de wijken belangrijk. Rekening houdend met de grote stromingsweerstand in de wijk en de hoogteverliezen bij de overgang van de wijk naar de hoofdwatgang (duiker) is aan het wijkpeil meer gewicht toegekend en is h_o als volgt berekend:

$$h_o = h_{st} + 0,8 (h_w - h_{st}) \quad (13)$$

waarin: h_o = gemiddeld openwater peil per peilvak (m)

h_{st} = stuwpeil in de hoofdwatgang (m)

h_w = bovenstroomspeil in de wijk (m)

Schematisch is dit weergegeven in figuur 8.

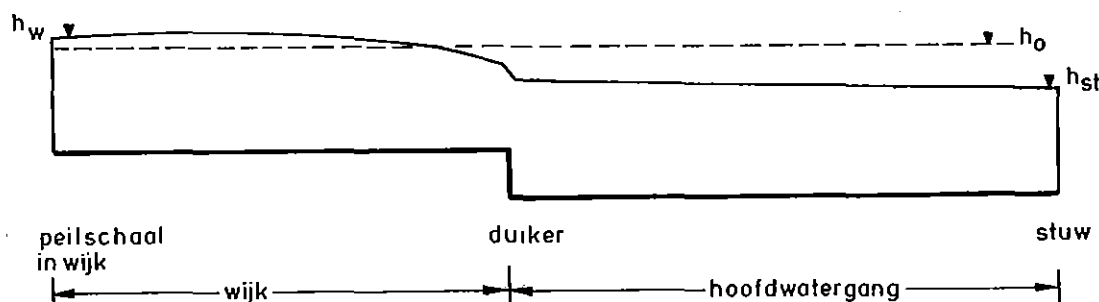


Fig. 8. Schematische weergave van peil in de wijk en hoofdwatgang

Voor de berekening van de gemiddelde hoogte van het freatisch vlak volgens vergelijking (11) is als vormfactor $\alpha = 0,9$ genomen. Dit is afgeleid uit de vorm van het freatisch vlak zoals die is waargenomen bij de proefpercelen. Vergelijking (11) gaat dus over in:

$$h_{gem} = h_o + 0,9 (h_m - h_o) \quad (14)$$

In tabel 3 en 4 staan de met behulp van deze stijghoogtes berekende hydraulische weerstand c_1 en ontwateringsweerstand γ voor de winter van 1979 en de winter van 1980-1981.

De weerstand c_1 is de stromingsweerstand tussen het freatische en het 2e watervoerende pakket (zie figuur 2).

Tabel 3. Berekening van de hydraulische weerstand c_1 en de ontwateringsweerstand γ voor najaar 1979

Peil- vak	U_d mm. d ⁻¹	U_n mm. d ⁻¹	U_k mm. d ⁻¹	h_m m	h_o m	h_{gem} m	h_2 m	c_1 dagen	γ dagen
W-14	2,02	1,55	0,97	8,50	7,36	8,39	8,75	371	564
W-16	2,94	1,55	1,99	9,50	8,49	9,40	9,90	251	344
W-18	0,42	1,41	- 0,49	9,65	8,66	9,55	9,45	204	(2357)
W-24	0,58	1,34	- 0,26	8,30	7,71	8,24	8,40	(- 615)	(1017)
W-26	0,80	1,26	0,04	8,70	8,44	8,67	8,55	(- 2000)	325
M-22	2,08	1,48	1,10	7,40	7,31	7,39	7,50	100	43
M-24	- 0,50	1,44	- 1,44	8,25	8,11	8,24	8,20	28	-
M-26	0,18	1,34	- 0,66	8,90	8,65	8,88	8,75	196	(1167)
M-34	0,90	1,48	- 0,08	7,75	7,61	7,74	7,85	(- 314)	156
M-36	0,46	1,41	- 0,35	8,10	7,83	8,07	7,85	628	587
O-32	3,56	1,41	2,65	6,75	6,62	6,74	6,75	0	37
O-34	2,49	1,41	1,53	7,45	7,01	7,41	7,50	58	177
O-36	- 0,01	1,41	- 0,92	8,25	8,24	8,24	8,20	43	-
O-38	- 0,10	1,34	- 0,94	8,50	8,35	8,49	8,50	0	-
O-40	- 0,48	1,41	- 0,43	9,00	8,93	8,99	8,80	442	146
O-42	0,48	1,35	- 0,37	7,00	6,51	6,95	6,90	136	-
O-44	0,08	1,48	- 0,90	7,55	7,09	7,50	7,50	0	-
O-46	0,36	1,64	- 0,78	7,85	7,79	7,84	7,80	52	166

U_d = afvoer naar open water

U_k = stroming door het freatisch vlak

U_n = stroming vanuit 2e watervoerend pakket

h_m = grondwaterstand midden perceel

h_o = gemiddeld peil open water

h_{gem} = gemiddeld niveau freatisch vlak

h_2 = stijghoogte in 2e watervoerend pakket

Tabel 4. Berekening van de hydraulische weerstand c_1 en de ontwaterings-
weerstand γ voor winter 1980-1981

Peil- vak	U_d mm.d^{-1}	U_n mm.d^{-1}	U_k mm.d^{-1}	h_m m	h_o m	h_{gem} m	h_2 m	c_1 dagen	γ dagen
W-14	6,54	1,82	4,72	8,20	7,40	8,15	8,70	117	122
W-16	3,34	1,86	1,49	9,60	8,51	9,50	10,10	369	326
W-18	-	1,86	-	9,80	8,67	9,69	9,60	-	-
W-24	1,86	1,89	- 0,02	8,55	7,84	8,50	8,50	0	382
W-26	1,99	1,89	0,10	9,00	8,24	8,92	8,80	(- 1200)	382
M-22	4,14	1,88	2,26	7,45	7,26	7,45	7,45	9	46
M-24	1,35	1,91	- 0,56	8,50	8,22	8,48	8,30	321	207
M-26	2,94	1,83	1,11	9,15	8,87	9,13	9,15	19	95
M-34	-	1,83	-	8,00	7,73	7,97	7,95	-	-
M-36	1,42	1,80	- 0,38	8,25	7,81	8,21	8,00	553	310
O-32	2,28	1,81	0,10	7,00	6,78	6,98	7,00	200	96
O-34	2,01	1,75	1,32	7,75	7,03	7,68	7,75	53	358
O-36	2,63	1,81	0,82	8,45	8,17	8,43	8,25	(- 100)	106
O-38	0,45	1,83	- 1,38	8,75	8,68	8,74	8,60	101	156
O-40	1,58	1,81	- 0,23	9,10	8,87	9,08	9,00	348	146
O-42	1,48	1,84	- 0,36	7,15	6,68	7,10	7,10	0	318
O-44	1,29	1,84	- 0,29	7,65	7,08	7,59	7,60	0	442
O-46	1,76	1,86	- 0,10	8,05	-	-	8,00	0	-

U_d = afvoer naar open water

U_n = stroming door het freatisch vlak

U_k = stroming vanuit 2e watervoerend pakket

h_m = grondwaterstand midden perceel

h_o = gemiddeld peil open water

h_{gem} = gemiddeld niveau
freatisch vlak

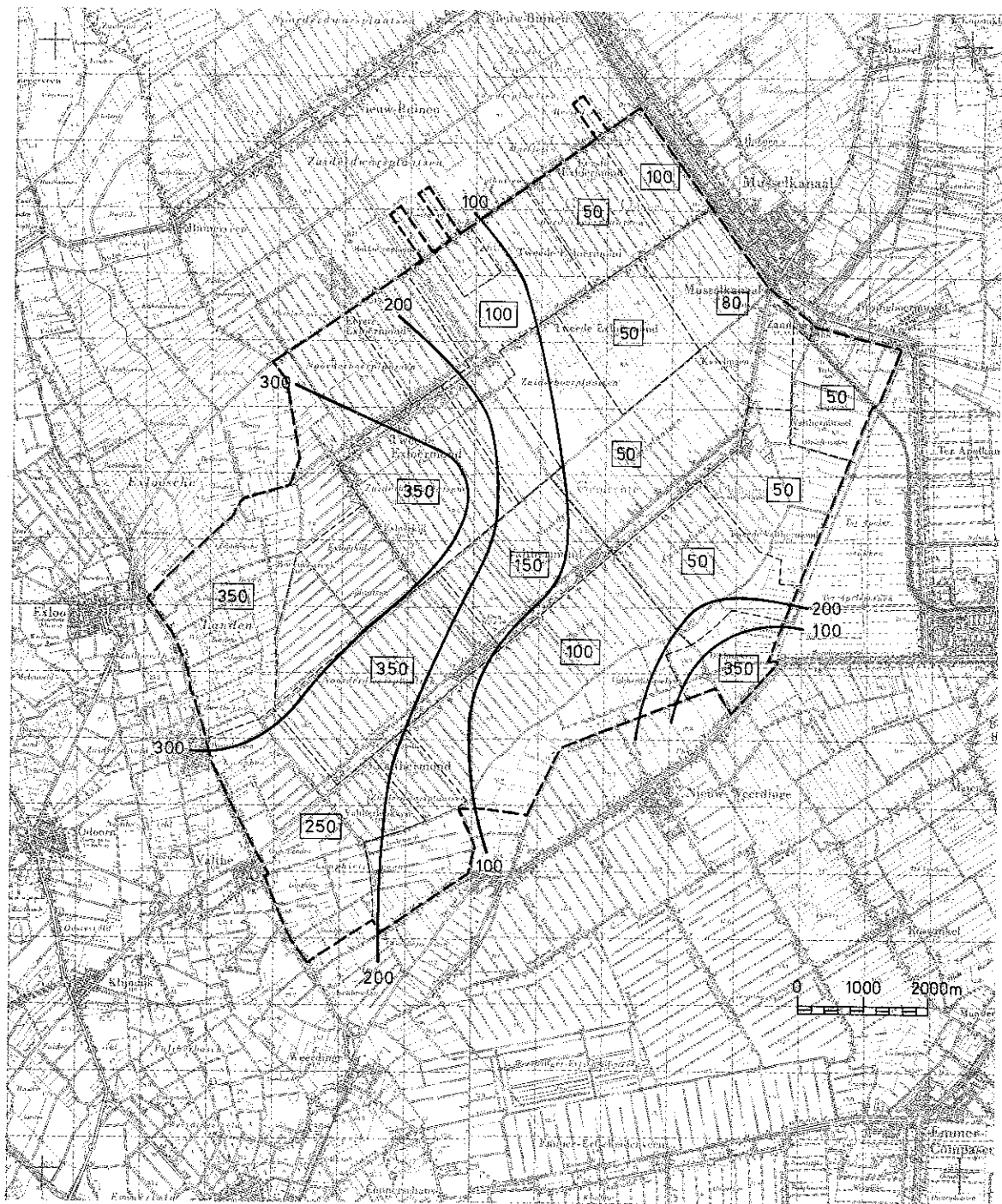
h_2 = stijghoogte in 2e
watervoerend pakket

In deze tabellen zijn aangegeven de stromingstermen van de waterbalans de gemeten en gecorrigeerde stijghoogtes. Voor de bepaling van de gemiddelde stijghoogte in het 2e watervoerende pakket waren minder waarnemingspunten aanwezig. Deze waarden zijn daarom op 5 cm afgerond.

In figuur 9 en 10 zijn de gemiddelde c_1 - en γ -waarden in kaart gebracht.

De hoge c_1 -waarden in het westelijk gebied bij de Hondsrug en de lage c -waarden in het oosten bij het Stadskanaal komen overeen met de veronderstelde verbreiding van de slecht doorlatende Eem-afzetting zoals die wordt vermeld in het Geologische rapport "Emmen-Oost" (1979). De grootte van de waarden zullen echter met een zekere terughoudendheid gebruikt moeten worden omdat de berekening uit de waterbalans gevoelig is voor fouten die gemaakt worden bij de bepaling van de posten in de waterbalans. Met name wanneer de kwelstroming klein is en ook het stijghoogteverschil klein is kan de onnauwkeurigheid van de berekende c -waarden erg groot zijn. De resultaten worden meer betrouwbaar wanneer de kwel of wegzijging groter is dan 1 mm.d^{-1} en de gemeten drukverschillen groter zijn dan 5 cm.

De extreem hoge waarden in de uitkomsten voor de ontwateringsweerstand γ worden deels veroorzaakt door fouten in de middeling van " $h_m - h_o$ ". Meer betrouwbaar is het om 2 naast elkaar gelegen waarnemingspunten van wijkpeil en grondwaterstand te gebruiken voor de berekening van het stijghoogteverschil. Slechts in een beperkt aantal gevallen stond in het perceel naast de wijkpeilschaal een landbouwbuis zoals te zien is in figuur 5. Resultaten van deze rekenwijze en de uitkomsten van de 2 balans perioden zijn naast elkaar gezet in tabel 5.



wateraanvoergebied „DE MONDEN“

c_1 -waardenkaart (dagen)

--- grens proefgebied

--- grens stuwpelvlak

— stijghoogtelijn

100

gemiddelde c_1 -waarde per peilvak in dagen

Fig. 9. c_1 -waardenkaart

Tabel 5. Uit de waterbalans berekende stromingsweerstand voor najaar 1979 en winter 1980/1981 met de daaruit afgeleide gemiddelden

Peil- vak	Najaar 1979		Winter 1980-1981			Differentie benadering <i>voor γ'</i>	Meest betrouw- bare schatting	
	c_1 (dagen)	γ (dagen)	c_1 (dagen)	γ (dagen)	γ' (dagen)		$\bar{c}_1$ (d)	$\bar{\gamma}$ (d)
W-14	371	564	7	112	-	-	350	200
W-16	251	344		329	130	90	250	150
W-18	204	-	3	-	367	-	200	300
W-24	-	-	-	382	237	180	250	200
W-26	-	325	-	382	388	350	-	350
M-22	100	150	9	58	211	90	100	150
M-24	28	-	321	207	-	150	150	200
M-26	196	-	19	95	-	50	100	150
M-34	-	156	-	-	-	150	-	150
M-36	628	587	587	310	-	180	400	200
O-32	0	37	200	96	170	90	100	150
O-34	58	177	53	358	252	300	80	250
O-36	43	-	-	-	-	300	50	250
O-38	0	-	101	156	170	-	50	150
O-40	442	146	348	146	-	170	350	150
O-42	136	-	0	318	444	400	50	350
O-44	0	-	30	442	-	-	50	300
O-46	52	166	0	-	-	-	50	150

c_1 = hydraulische weerstand tussen het freatische en 2e watervoerende pakket *hele gebied 210*

γ = ontwaterings- of drainageweerstand

γ' = drainageweerstand berekend uit één wijkpeil en naastliggende landbouwbuis

Onbetrouwbaarheden in de berekening van U_k en U_d zoals reeds genoemd bij de balansberekeningen komen ook tot uitdrukking in de daaruit afgeleide weerstanden.

Een 'truc' om van een aantal systematische fouten in h_{gem} , h_o , U_k en U_d te verwijderen is de zogenaamde differentiebenadering. Deze benadering houdt het volgende in. We vergelijken twee perioden met ver-

schillende neerslagoverschot. Bij niet al te grote verschillen in drainageweerstanden tussen de verschillende deelgebieden zullen de verschillen in stijghoogtes van het freatisch water tussen de twee periodes voor de verschillende deelgebieden niet veel van elkaar afwijken. Met andere woorden het isohypsenpatroon verandert nauwelijks, alleen ligt het op een ander niveau. Gevolg is dus dat de sterktes van de grondwaterstromen over de randen van de deelgebieden nauwelijks veranderen.

Het meerdere neerslagoverschot moet dus via het oppervlaktewaterstelsel worden afgevoerd. De drijvende kracht hiervoor is de grotere opbolling. De drainageweerstand is dus (bij een enkelvoudig ontwateringssysteem) te berekenen als:

$$\gamma = \frac{\Delta \text{ (opbolling)}}{\Delta \text{ (neerslagoverschot)}}$$

Deze benadering is toegepast op de beide perioden die in deze nota worden beschouwd. De aldus gevonden waarden van γ staan eveneens in tabel 5 vermeld. Over het algemeen levert dit redelijk betrouwbare uitkomsten op.

In de laatste 2 kolommen van tabel 5 is aangegeven wat de uit de meetresultaten afgeleide meest betrouwbare schattingen zijn. De figuren 9 en 10 zijn op grond van deze schattingen geconstrueerd.

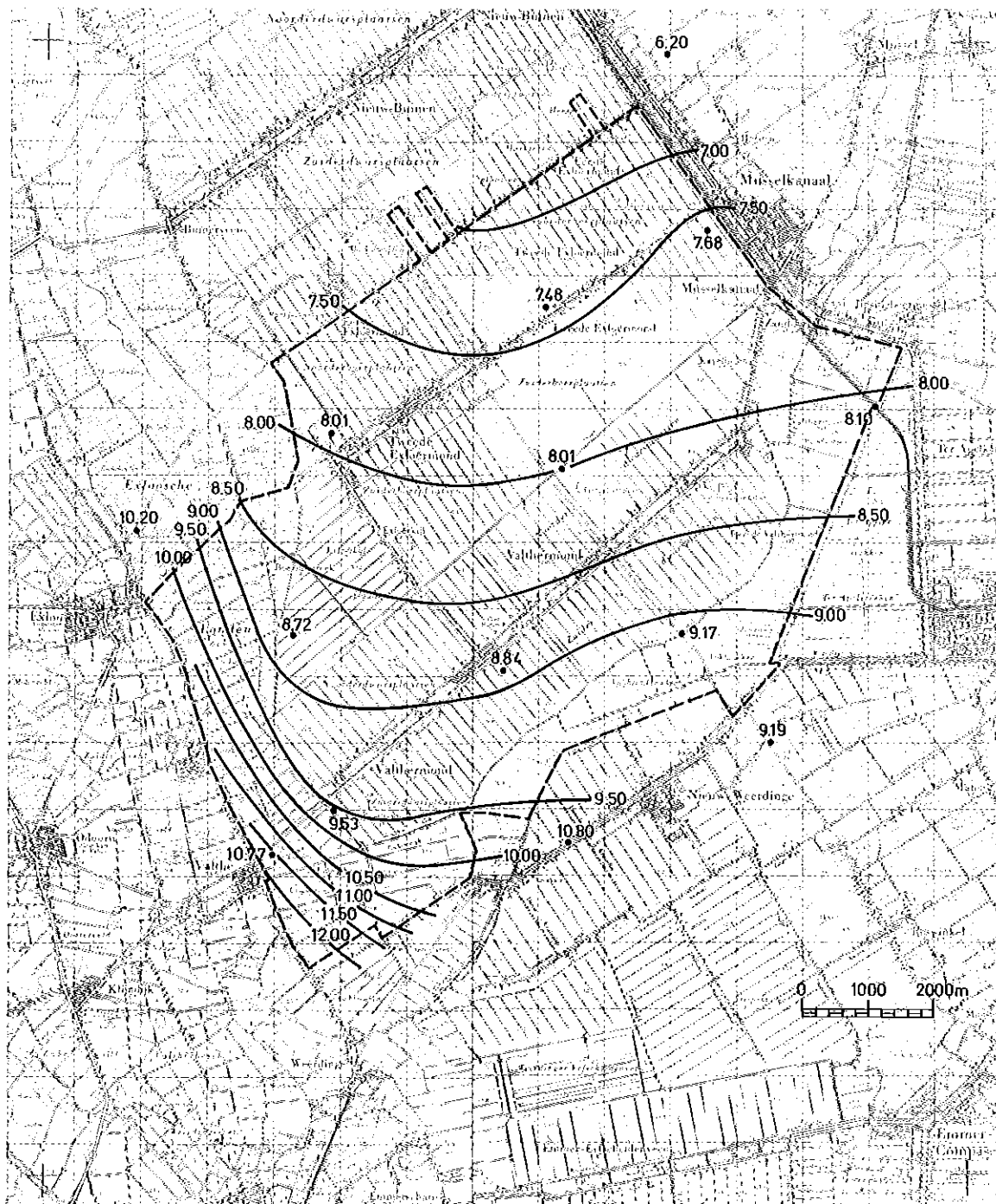
De spreiding in de uitkomsten geeft al aan met welk een voorzichtigheid de waarden gebruikt moeten worden.

6.3. B e r e k e n i n g e n 2 e e n 3 e w a t e r v o e r e n d p a k k e t

De waterbalans van de diepere watervoerende pakketten is grotendeels gebaseerd op de isohypsenkaarten van die lagen. Voor de constructie van deze kaarten zijn de stijghoogtes in een 10-tal diepe peilbuizen waargenomen. Ondanks het geringe aantal meetpunten was het toch mogelijk hieruit een isohypsenpatroon samen te stellen, er vanuit gaand dat dit patroon een regelmatig verloop zal hebben zoals weergegeven in figuur 11 en 12. Voor het diepste oftewel 3e watervoerende pakket zal dit op kunnen gaan daar deze door 2 minder goed doorlatende

--- grens proefgebied
 9.00 stijghoogtelijn
 • 9.52 stijghoogte in m+N.A.P.

29



wateraanvoergebied „DE MONDEN”
gemiddelde isohypsenkaart voor het
2^e watervoerend pakket voor winter
1980/1981

----- grens proefgebied
—— 700 stijghoogtelijn
• 10.30 stijghoogte in m•N.A.P.

Fig. 12. Isohypsen voor het 2e watervoerend pakket winter 1980/1981

lagen gescheiden is van het freatisch water en daardoor waarschijnlijk een minder grillig patroon zal hebben.

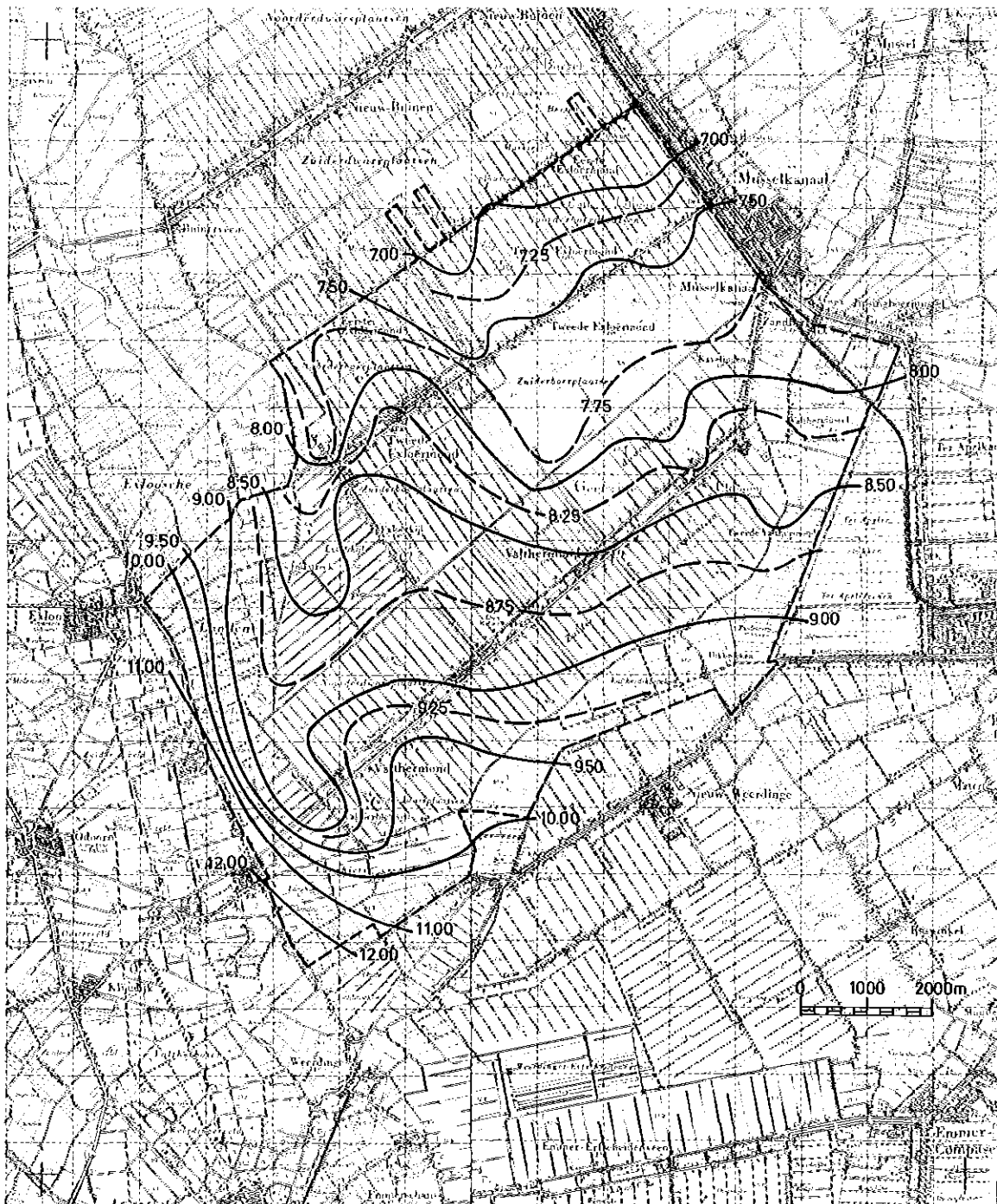
Het isohypsenpatroon in het 2e watervoerende pakket zal echter wel sterker beïnvloed worden door de vorm van het freatisch vlak (figuur 13) met name in het midden en oostelijk deel van het proefgebied waar geen duidelijke afscheidende c_1 -laag aanwezig is.

Tabel 6 geeft de berekening van de weerstand c_2 van de slecht doorlatende laag tussen het 2e en 3e watervoerende pakket. De balansgebieden zijn overeenkomstig, de waterbalans van het freatische water gelijk genomen aan de stuwpeilvakken. De onder- en bovengrens worden gevormd door respectievelijk de hydrologische basis en het 2e watervoerende pakket. In figuur 14 zijn de gemiddelden van de 2 perioden in kaart gebracht.

Het weerstandsverloop van deze c_2 -laag wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van de fijnkorrelige Peelo-afzettingen met daarin een laag Cromerklei. Volgens Pomper (1982) en Rolf (1978) liggen deze afzettingen voornamelijk in het zuidoostelijke deel van het proefgebied. Opvallend is de hoge waarde in peilvak 0-46 in het zuidoosten. Uit de boorbeschrijving van spoelboring X, die gelegen is in dit peilvak, blijkt op een diepte van ongeveer 30 meter een 10 meterdik kleipakket aanwezig te zijn. ook in spoelboring IX is zo'n kleipakket aangeboord maar deze komt echter niet tot uitdrukking in de berekeningen. Door Rolf (1978) wordt voor deze Cromerklei een weerstandswaarde van 290 dagen. m^{-1} . Bij een dikte van 10 meter komt de c_2 -waarde dus op 2900 dagen. De erop en eronder liggende fijnkorrelige zanden zullen de totale weerstand alleen nog maar verhogen.

De verschillen tussen de berekeningen van 1979 en 1980-1981 geven aan in hoeverre de uitkomsten betrouwbaar zijn. Zoals al opgemerkt kunnen de verschillen een gevolg zijn van het geringe aantal peilbuizen waaraan het isohypsenpatroon opgehangen wordt en de onnauwkeurigheid waarmee met name in het 2e watervoerende pakket de gemiddelde grondwaterstijghoogte bepaald wordt.

Dit laatste komt nog meer tot uitdrukking bij de waterbalansberekening voor het 2e watervoerende pakket zelf en tabel 7. De isohypsenkaart van dit pakket is een te onbetrouwbare basis voor een bruikbare



wateraanvoergebied „DE MONDEN - - - - - grensproefgebied
 gemiddelde isohypsenskaart van het — 10.00 stijghoogtelijn m+N.A.P.
 1^e watervoerende of freatische pakket
 voor de winter 1980/1981

Fig. 13. Isohypsens voor het 1e of freatische pakket winter 1980/1981

Tabel 6. Berekening van de c_2 -waarden aan de hand van de waterbalans van het 3e watervoerende pakket

Peil- vak	Q_i $m^3.d^{-1}$	Q_u $m^3.d^{-1}$	Q_v $m^3.d^{-1}$	Opp. ha	U_v $mm.d^{-1}$	Δh mm	c_2 d
21 oktober - 9 december 1979							
W-14	8 670	1 460	7 210	846	0,85	80	95
W-16	14 980	3 460	11 520	646	1,78	50	30
W-18	5 010	2 530	2 480	239	1,04	50	50
W-26	2 510	1 290	1 220	474	0,26	70	270
WEST	26 290	3 430	22 860	2718	0,84	60	70
M-22	1 670	1 520	150	529	0,03	20	230*
M-24	1 370	1 100	270	329	0,08	70	900
M-26	3 750	2 080	1 670	928	0,18	10	50
M-36	1 300	930	370	430	0,16	15	165
MIDDEN	7 030	3 860	3 170	2947	0,11	30	270
O-32	1 260	1 510	- 250	166	- 0,16	- 120	750
O-34							
O-42	820	1 700	- 880	248	- 0,36	- 50	180
O-46	670	1 000	- 330	250	- 0,13	- 500	4000
OOST	2 990	4 740	-1 750	2162	- 0,08	- 100	1250
TOTAAL	27 830	4 450	23 380	7762	0,30		

Tabel 6 vervolg

Peil- vak	Q_i $m^3.d^{-1}$	Q_u $m^3.d^{-1}$	Q_v $m^3.d^{-1}$	Opp. ha	U_v $mm.d^{-1}$	Δh mm	c_2 d
10 oktober 1980 - 27 februari 1981							
W-14	8 260	1 120	7 140	846	0,84	100	120
W-16	16 790	3 840	12 950	646	2,00	50	25
W-24	1 910	440	1 470	330	0,44	100	225
W-26	2 280	360	1 920	474	0,41	20	50
WEST	26 660	3 140	23 520	2718	0,87	80	90
M-22	2 690	2 660	30				230*
M-24	1 290	1 130	160	329	0,05	50	1000
M-26	3 750	1 050	2 700	928	0,29	20	70
M-34	1 440	1 780	- 340	450	- 0,76	- 50	65
MIDDEN	5 930	4 470	1 460	2947	0,05	15	300
O-32	1 020	1 360	- 340	166	- 0,21	- 200	950
O-36	770	1 630	- 861	348	- 0,25	- 50	250
O-42	810	1 500	- 690	248	- 0,25	- 50	200
O-46	710	840	- 130	250	- 0,05	- 250	5000
OOST	2 870	5 030	-2 160	2162	- 0,10	- 100	1000
TOTAAL	28 250	4 720	23 530	7762	0,31		

230* bepaald uit pompproef

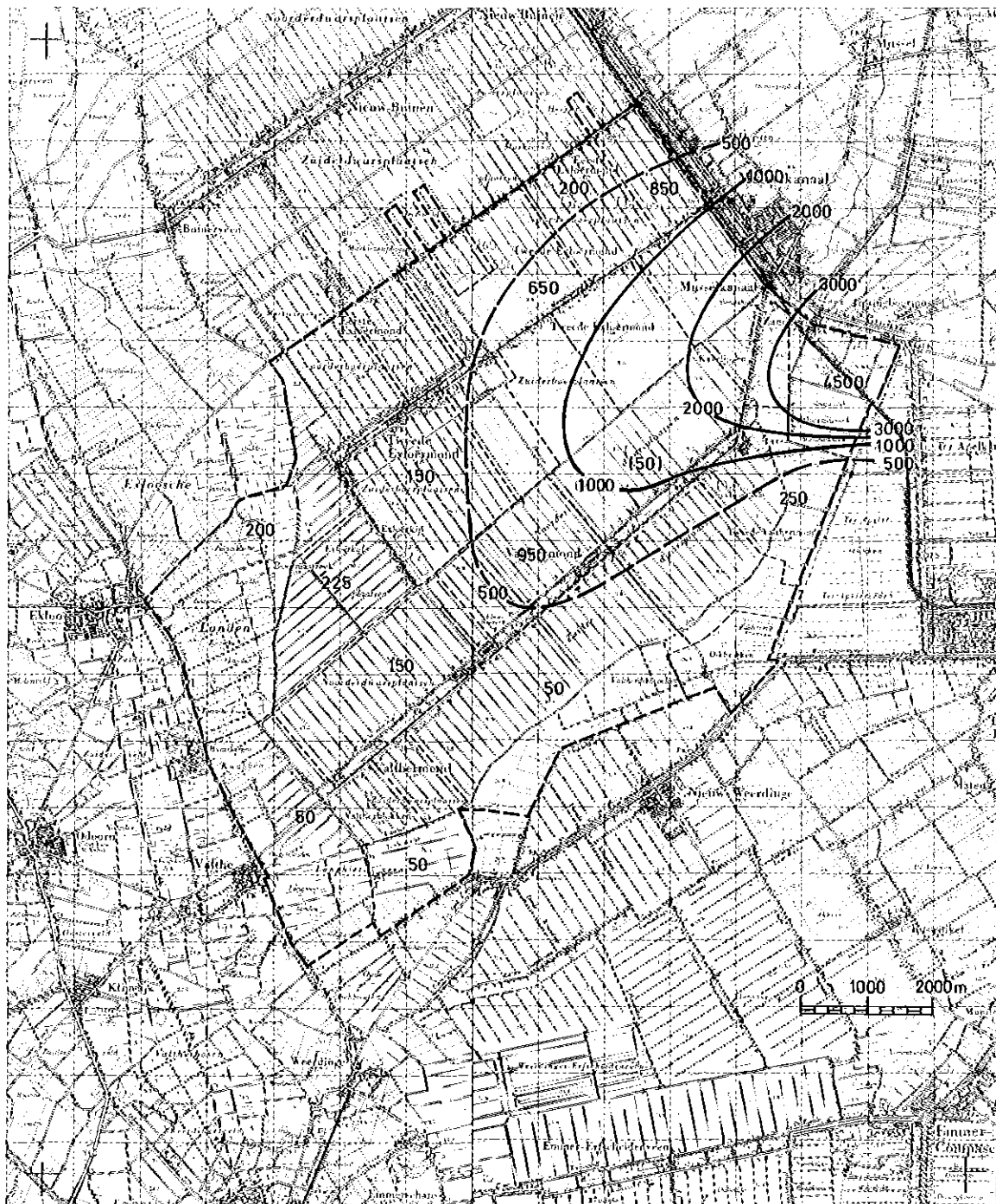
Q_i = instromend debiet

Q_u = uitstromend debiet

Q_v = verticale stroming

U_v = verticale stroming / opp. balansgebied

Δh = stijghoogte verschil tussen 2e en 3e watervoerend pakket



wateraanvoergebied „DE MONDEN”
c₂-waardenkaart

----- grens proefgebied
----- grens stuwpeilvak
——— stijghoogtelijn
200 gemiddelde c₂-waarde per peilvak

Fig. 14. c₂-waardenkaart

Tabel 7. Berekening van de c_1 -waarde aan de hand van de waterbalans van het 2e watervoerend pakket

Peilvak	Q_i $m^3 \cdot d^{-1}$	Q_u $m^3 \cdot d^{-1}$	Q_v $m^3 \cdot d^{-1}$	Opp. ha	U_{v2} $mm \cdot d^{-1}$	U_{v3} $mm \cdot d^{-1}$	U_k' $mm \cdot d^{-1}$	Δh mm	c_1 d
21 oktober - 9 december 1979									
W-14	1060	330	730	846	0,10	0,85	0,95	360	380
W-16	2200	950	1250	646	0,20	1,78	1,98	500	250
W-24	200	160	40	330	0,01	0,23	0,24	160	460
W-26	470	120	350	474	0,07	0,26	0,33	120	(- 360)
WEST	3710	1162	2550	2718	0,10	0,85	0,95	200	210
M-22									
M-24	150	170	- 20	329	- 0,01	0,08	0,07	- 40	(-)
M-26	510	300	210	928	0,02	0,18	0,20	130	650
M-34	500	190	310	666	0,05	0,03	0,08	110	1250
MIDDEN	1878	735	1143	2947	0,04	0,11	0,15		
O-32									
O-32	250	270	- 20	166	- 0,01	- 0,16	- 0,17	10	(- 59)
O-42	210	520	-310	248	- 0,13	- 0,76	- 0,49	- 50	100
O-44	120	140	- 70	248	- 0,01	- 0,15	- 0,16	- 10	(60)
OOST	330	1230	-900	2162	- 0,04	- 0,08	- 0,12		
TOTAAL	3570	1030	2540	7827	0,03	0,30	0,33		

Tabel 7 vervolg

Peilvak	Q_i $m^3.d^{-1}$	Q_u $m^3.d^{-1}$	Q_v $m^3.d^{-1}$	Opp. ha	U_{v2} $mm.d^{-1}$	U_{v3} $mm.d^{-1}$	U_k' $mm.d^{-1}$	Δh mm	c_1 d
10 oktober 1980 - 27 februari 1981									
W-14	1670	590	1080	846	0,12	0,84	0,96	350	570
W-16	2000	470	1530	646	0,24	2,00	2,24	400	180
W-24	410	150	260	330	0,08	0,44	0,52	0	0
W-26	370	60	310	474	0,06	0,41	0,47	- 12	- 255
WEST	3990	660	3330	2718	0,12	0,87	0,99		
M-22	436	384	52	1185	0,01	-	-	-	-
M-24	209	184	25	329	0,01	0,05	0,06	- 180	(- 3000)
M-26	554	412	142	928	0,02	0,29	0,31	20	64
M-36	300	160	140	430	0,03	0,05	0,08	- 210	(-)
MIDDEN	1130	770	360	2947	0,01	0,05	0,06		
O-32	110	200	-100	166	- 0,06	- 0,21	- 0,27	- 20	74
O-36	110	170	- 60	348	- 0,02	- 0,25	- 0,27	- 180	666
O-44	70	160	- 90	248	- 0,03	- 0,05	- 0,08	0	(-)
O-46	90	200	-110	250	- 0,04	- 0,05	- 0,04	- 20	222
OOST	310	900	-590	2162	- 0,03	- 0,10	- 0,13		
TOTAAL	4150	1140	3010	7762	0,02	0,31	0,33		

(-...) niet betrouwbare waarden

Q_i = instromend debiet

Q_u = uitstromend debiet

Q_v = verticale stroming

U_{v2} = verticale stroming/opp. balansgebied

U_{v3} = verticale stroming vanuit 3e watervoerend pakket

$U_k' = U_{v2} + U_{v3}$

Δh = stijghoogteverschil tussen 1e en 2e watervoerend pakket

waterbalans. Alleen in het westelijk gebied waar de kwelstroming groter is en ook de stijghoogteverschillen groter zijn de uitkomsten eventueel bruikbaar daar de fouten dan minder invloed hebben.

Bij de bepaling van de c -waarden volgens de hierboven gebruikte methode is het nodig het stijghoogteverval over de slecht doorlatende laag te kennen. Uit de waarnemingen zijn slechts de stijghoogten bekend in filters op diepten van 2, 5, 20 en 60 meter, dus is ook slechts het stijghoogteverschil over deze afstanden bekend. Er vanuit gaand dat in werkelijkheid het drukverval zich hoofdzakelijk zal concentreren over de slecht doorlatende laag tussen 2 filterdieptes, zullen de berekende waarden toch een indicatie zijn voor de grootte van de betreffende c -waarde. In het oostelijk gebied, waar tussen het ondiepe en 2e watervoerende pakket geen duidelijke c_1 -laag aanwezig is zal de berekende " c -waarde" meer een verticale weerstand voor het hele afdekende pakket voorstellen.

7. SAMENVATTING EN NABESCHOUWING

Het gebruik van de waterbalans voor de berekening van stromingsweerstand in de bodem stelt een groot aantal voorwaarden aan het gebied, de waarnemingsintensiteit en de nauwkeurigheid van de waarnemingen.

1. De van nature aanwezige kwel of wegzijging en de afvoer naar open water moet voldoende groot zijn om niet binnen de onnauwkeurigheden van de andere waterbalanstermen te vallen. Bij kleine stromingsintensiteiten en kleine stijghoogteverschillen kunnen de berekeningen erg onbetrouwbaar worden.
2. De overige posten van de waterbalans dienen zo nauwkeurig mogelijk bepaald te worden, zowel de afvoertermen als ook de neerslag en verdamping.
3. Het grondwaterstandsmmeetnet moet voldoende dicht zijn om een zo betrouwbaar mogelijke isohypsenkaart te kunnen maken. Vooral daar waar een groot verhang in de grondwaterstand voorkomt moet de dichtheid groot zijn.

4. Bij de indeling in balansgebieden moet zoveel mogelijk getracht worden de verschillende hydrologische stromingssituaties (kwel, wegzijging) gescheiden te houden zodat de verschillende effecten elkaar niet opheffen.
5. Aangenomen is dat alle neerslag door de grond wordt afgevoerd. Plasvorming in natte winters kan duiden op oppervlakkige afvoer (eventueel via zwetsloten). Daarmee zou een verklaring te geven zijn voor de over het algemeen lagere berekende drainageweerstanden voor de winter 1980/1981 in vergelijking tot 1979.

Gezien de eisen aan deze waterbalansmethoden en de gevonden spreiding in de resultaten zullen de in deze nota berekende weerstandswaarden voor c en γ gezien moeten worden als een zeer ruwe schatting van de parameters welke in het rekenmodel ingevoerd moeten worden.

LITERATUUR

- BAKEL, P.J.T. VAN, 1978. A numerical model for non-stationary saturated groundwaterflow in a multi-layered system. Nota 1077 ICW, Wageningen.
- HOMMA, F., 1980. Meting van overstorthoogte en verschildruk met behulp van drukopnemers. Nota 1184 ICW, Wageningen.
- , 1981. Metingen ter bepaling van Q/h -relaties voor enkele stuwen in het gebied "De Monden". Nota 1266 ICW, Wageningen.
- POMPER, A.B., 1981. De geohydrologische opbouw van het proefgebied "De Monden" in het waterschap "De Veenmarken". Nota 1316 ICW, Wageningen.
- ROLF, H.L.M., 1978. Modelonderzoek inzake een aantal hydrologische aspecten van grondwaterwinning en de aanleg van een recreatiemeer in de gemeente Emmen. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Voorburg. pp. 33 en 34.
- RIJKS GEOLOGISCHE DIENST, 1979. Geologische Kaart van Nederland 1 : 50 000 bladen 17W en 17O, Haarlem.